

Study on Pure Mechanical Scouring Behavior of Electric Submersible Pump Suction Material

Zheng Duan, Shasha Feng, Junli Huang, Jie Rong

Shenzhen Branch of CNOOC China Ltd., Shenzhen Guangdong
Email: duanzheng2@cnooc.com.cn

Received: Apr. 28th, 2018; accepted: Jul. 3rd, 2018; published: Feb. 15th, 2019

Abstract

45# steel and 316L stainless steel were used as the research object to study the influence law of impact time, flow velocity and impact angle on the scouring behavior under the pure mechanical scouring conditions. The results show that pure mechanical scouring weight loss rate is inversely proportional to the hardness of material. The scouring weight loss rate of 316L stainless steel with high hardness is low, and 45# steel with low hardness is high. The scouring weight loss rate of 45# steel and 316L stainless steel increases first with the increase of impact time initially, and then at the stable wear stage. The scouring weight loss rate shows a linear increase trend with the velocity increase. At 45° impact angle, the scouring weight loss rate is the smallest, and it increases when the impact angle is higher or lower than 45°. The damage mechanism is cutting at 0°, and when the damage mechanism is plowing at 90°. The study provides a theoretical basis for the selection of offshore oil field electric submersible pump unit and guarantee of its high life operation.

Keywords

ESP Suction Material, Pure Mechanical Scouring Behavior, Impact Time, Flow Velocity, Impact Angle

电潜泵吸入口材料纯机械冲刷行为研究

段 铮, 冯沙沙, 黄军立, 荣 杰

中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 广东 深圳

作者简介: 段铮(1984-), 男, 工程师, 主要从事海上油气开采、人工举升优化管理、井筒工艺设计以及井下增产措施方案与评价研究工作。

Email: duanzheng2@cnooc.com.cn

收稿日期: 2018年4月28日; 录用日期: 2018年7月3日; 发布日期: 2019年2月15日

摘 要

以电潜泵吸入口材料45#钢和316L不锈钢为研究对象, 研究了在纯机械冲刷条件下, 冲击时间、流速以及冲击角度对冲刷行为的影响规律。结果表明, 纯机械冲刷失重速率与材料的硬度成反比, 316L不锈钢的硬度高, 冲刷失重速率小, 45#钢的硬度低, 冲刷失重速率大。45#钢和316L不锈钢的冲刷失重速率随着冲击时间的增加, 先增加后趋于稳定, 随着流速的增加呈线性增加趋势。当冲击角度为45°时, 冲刷失重速率最小; 当冲击角度为高于或低于45°时, 冲刷失重速率均增加; 当冲击角度为0°时的损伤机制为切削; 当冲击角度为90°时的损伤机制为犁削。该研究成果为海上油田潜油电泵机组选材提供了理论依据。

关键词

电泵入口材料, 纯机械冲刷, 冲击时间, 流速, 冲击角度

Copyright © 2019 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

潜油电泵是海上油田人工举升的重要机械采油设备, 其寿命长短直接影响油田生产效率和成本。在石油开采过程中, 井液含砂和大液量生产会对潜油电泵造成冲刷磨损, 造成潜油电泵寿命缩短或系统失效。45#钢和316L不锈钢是典型的电泵吸入口材料, 但目前还没有关于45#钢和316L不锈钢在非腐蚀性介质中的纯机械冲刷行为规律的相关研究。通过研究冲击时间、流速、以及冲击角度对其机械冲刷行为影响规律, 可为潜油电泵的优化设计提供有效的理论依据, 对于延长电泵使用寿命和提高经济效益具有重要意义。

2. 试验部分

2.1. 试验材料

电泵吸入口所用材料45#钢和316L不锈钢, 其化学成分见表1。试验介质为固液两相含砂水流, 石英砂的砂体粒度为700~900 μm。

Table 1. The chemical components of 45[#] steel and 316L stainless steel
表 1. 45[#]钢和 316L 不锈钢化学成分

材料	不同材料的化学成分及质量分数/%							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
45 [#] 钢	0.42~0.50	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.035	≤0.035	≤0.25	≤0.25	
316L 不锈钢	≤0.03	≤1.0	≤2.00	≤0.045	≤0.030	16.0~18.0	10.0~14.0	2.0~3.0

2.2. 试验方法

机械冲刷试验在自制的管道冲刷腐蚀模拟测试试验装置中进行, 该自制装置可实现不同流速、含砂量以及冲击角度的调节。试样的工作面为 10 mm × 10 mm 的正方形, 其余面用环氧树脂密封。

试验前, 试样依次用 100[#]、400[#]、800[#]、1200[#]水砂纸打磨, 打磨后用无水乙醇擦拭干净, 并用去离子水冲洗, 冷风吹干。试验时间为 24 h, 冲刷速度为 8 m/s, 冲击角度为 0°, 含砂量为 1200 g/m³, 砂体粒度为 0.9 mm。试样冲刷前后的质量采用电子天平(精度为 0.0001 g)称量, 试样冲刷后的表面形貌采用 VHX-2000 型三维显微镜观察。

3. 试验结果与讨论

3.1. 机械冲刷失重速率与材料硬度的关系

对于韧性材料, 硬度对材料的机械冲刷行为起着决定性作用。硬度的增加降低了砂粒的冲刷作用, 减小了材料的冲蚀速率[1]。从图 1 可以看出, 45[#]钢的失重速率明显大于 316L 不锈钢。经测定, 45[#]钢和 316L 不锈钢的硬度分别为 274.8 HV 和 429.1 HV, 因此, 高硬度的 316L 不锈钢的抗冲刷性能优于低硬度的 45[#]钢。

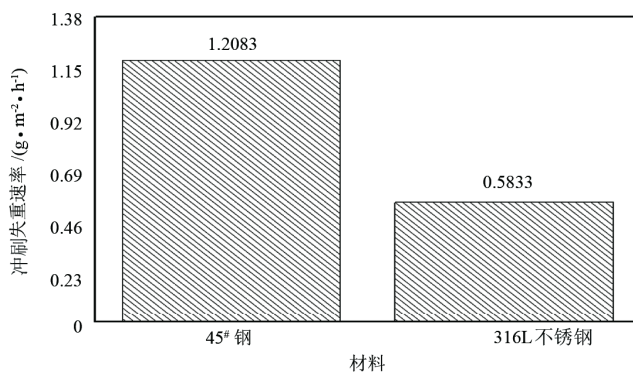


Figure 1. The scouring weight loss rate of 45[#] steel and 316L stainless steel
图 1. 45[#]钢和 316L 不锈钢的冲刷失重速率

3.2. 机械冲刷失重速率与冲刷时间的关系

图 2 是机械冲刷失重速率随冲刷时间变化的趋势图。可以看出, 45[#]钢和 316L 不锈钢的冲刷失重率先增加, 后趋于稳定, 说明材料在试验条件下处于稳定磨损阶段。这是由于高速砂粒撞击材料表面, 撞击点局部产生压应力, 当压应力高于材料临界应力时, 材料发生塑性变形, 进而被砂粒冲刷失重且失重逐渐增加, 随着试样表面发生剧烈的塑性变形, 试样表面会形成一层加工硬化层, 当塑性变形与加工硬化达到一个平衡点的时候, 冲蚀率基本不变。

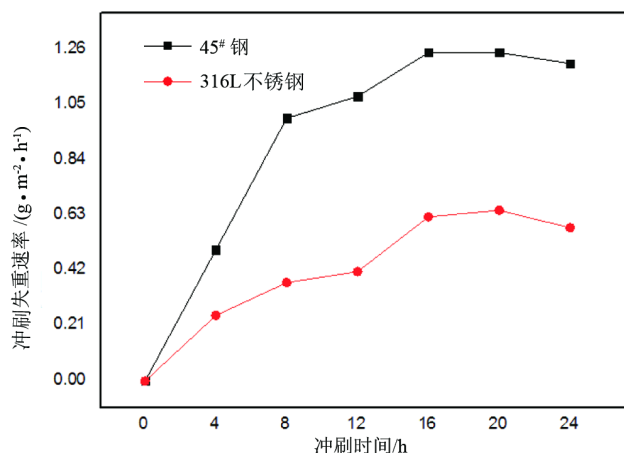


Figure 2. The trend of weight loss rate of mechanical scouring with the change of scouring time
图 2. 机械冲刷失重速率随冲刷时间变化的趋势

3.3. 机械冲刷失重速率与冲刷速度的关系

图 3 为机械冲刷失重速率随冲刷速度变化的趋势图。可以看出, 45#钢和 316L 不锈钢的冲刷失重速率均随着流速的增加而呈线性增加趋势。粒子的冲击速度与材料冲刷失重速率关系为:

$$W = kv^n \quad (1)$$

式中: W 为冲刷失重速率, $g/(m^2 \cdot h)$; v 为冲刷速度, m/s ; k 和 n 均为常数。

由于流速增大, 使得粒子所获得的速度增大, 动能相应增加, 导致材料的冲蚀加剧[2] [3]。

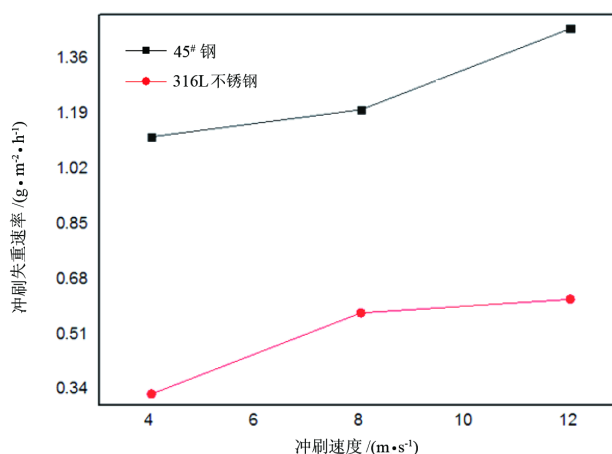


Figure 3. The trend of weight loss rate of mechanical scouring with the change of scouring velocity
图 3. 机械冲刷失重速率随冲刷速度变化的趋势

3.4. 机械冲刷失重速率与冲击角度的关系

图 4 为冲击角度对机械冲刷失重速率的影响趋势图。可以看出, 当冲击角度低于 45° 时, 随着角度的增加 45#钢和 316L 不锈钢的失重速率均出现降低的趋势, 在冲击角度为 45° 时, 失重速率最小。当冲击角度高于 45° 时, 两者失重速率均增加, 且 45#钢的增加幅度较大。当冲击角度为 90° 时, 45#钢的冲刷失重速率达到最大, 而 316L 不锈钢的失重速率最大值时的冲击角度为 0° 。在固液两相流冲刷过程中, 作用

在材料表面上的力同时具有水平和垂直分量，水平分量会对靶材造成切削损伤，垂直分量会对靶材造成撞击或冲击损伤。所以，随着冲击角度变化，切削和撞击作用此消彼长，造成了不同角度下不同的损伤机制。

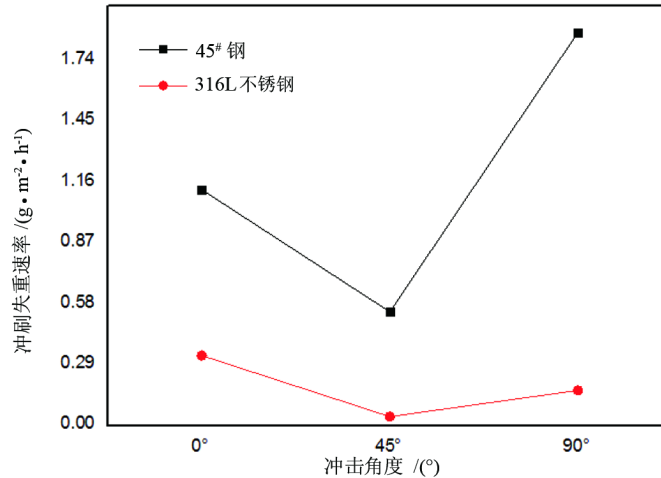


Figure 4. The trend of weight loss rate of mechanical scouring with the change of scouring angle
图 4. 机械冲刷失重速率随冲击角度变化的趋势

45[#]钢在不同冲击角度冲刷后的宏观形貌见图 5。可以看出，当冲击角度为 90° 时，45[#]钢表面可以观察到明显的冲击坑，而当冲击角度为 0° 时则未观察到明显的冲击坑。这是由于冲击角度较小时，水平分量作用较强，主要的损伤机制为切削，随着冲击角度的增大，垂直分量作用增强，粒子撞击材料表面，把金属从坑中挤出，形成带唇边的压坑，其损伤机制为犁削。

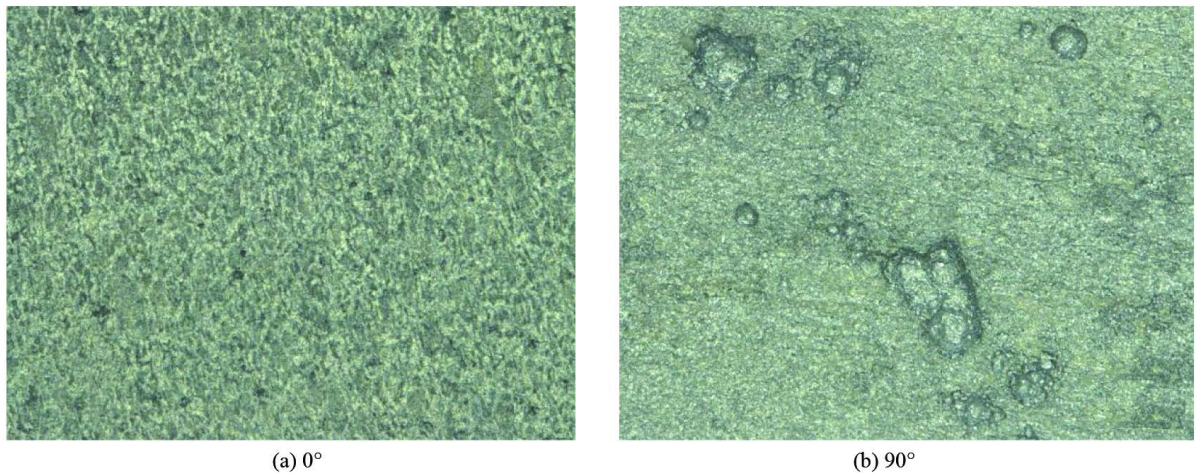


Figure 5. The macro-morphology of 45[#] steel at 0° and 90° impact angles
图 5. 45[#]钢在 0° 和 90° 冲击角度下的宏观形貌

4. 结论

1) 对于韧性材料，纯机械冲刷失重速率与材料的硬度成反比。316L 不锈钢的硬度高，冲刷失重速率小；45[#]钢的硬度低，冲刷失重速率大。

- 2) 45[#]钢和 316L 不锈钢的冲刷失重速率随着冲击时间的增加, 先增加后处于稳定磨损阶段。
- 3) 45[#]钢和 316L 不锈钢的冲刷失重速率随着流速的增加呈线性增加趋势。
- 4) 45[#]钢和 316L 不锈钢在冲击角度为 45°时, 冲刷失重速率最小; 高于或低于 45°时冲刷失重速率均增加; 当冲击角度为 0°时的损伤机制为切削, 当冲击角度为 90°时的损伤机制为犁削。

参考文献

- [1] 康进兴, 赵文轸, 朱金华. 材料抗冲蚀性的研究进展[J]. 材料保护, 2001, 34(10): 22-23.
- [2] 王凯. 油井管材料液固两相流体冲刷腐蚀研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安石油大学, 2013.
- [3] Bjordal, M., Bardal, E., Rogne, T., *et al.* (1995) Erosion and Corrosion Properties of MC Coatings and Duplex Stainless Steel in Sand-Containing Synthetic Sea Water. *Wear*, **186-187**, 508-514.
[https://doi.org/10.1016/0043-1648\(95\)07148-2](https://doi.org/10.1016/0043-1648(95)07148-2)

[编辑] 鲁大丽

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2471-7185, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: jogt@hanspub.org